

УТВЕРЖДАЮ

Директор по системным
исследованиям,
канд. техн. наук, доцент



А. С. Герасимов

ПРОТОКОЛ

технического совещания

*по итогам испытаний регуляторов возбуждения DECS-400
гидрогенераторов Зарамагской ГЭС-1 на ПАК РВ АО «НТЦ ЕЭС
(Протокол испытаний)*

27 июля 2023 года

г. Санкт-Петербург

Присутствовали:

от Филиала ПАО «РусГидро»-«Северо-Осетинский филиал»:

Сабаев А.М. – инженер участка ТАиВ Службы релейной защиты, автоматике и метрологии;

от АО «НТЦ ЕЭС»:

Есипович А.Х. – начальник лаборатории НИО-3, руководитель работы;

Кабанов Д.А. – начальник сектора НИО-3;

Гуриков О.В. – старший научный сотрудник НИО-3;

Сульчакова А.Ю. – младший научный сотрудник НИО-3.

Рассмотрев вопрос об итогах испытаний регуляторов возбуждения DECS-400 гидрогенераторов Зарамагской ГЭС-1 на ПАК РВ АО «НТЦ ЕЭС (Договор подряда № 1010-84-2023/223-02-3Н-23, Заказчик – ПАО «РусГидро», Исполнитель – АО «НТЦ ЕЭС»), представители указанных выше организаций отмечают следующее:

1. Целями испытаний являлись:

- проверка и корректировка (при необходимости, выявленной в процессе проверки) параметров настройки регуляторов возбуждения DECS-400 гидрогенераторов Зарамагской ГЭС-1 на программно-

аппаратном комплексе моделирования энергосистем в режиме реального времени (далее – ПАК РВ) АО «НТЦ ЕЭС» в схеме, адекватно отображающей условия работы гидроэлектростанции в ОЭС Юга;

- анализ функционирования регуляторов возбуждения *DECS-400* в условиях глубокого потребления гидрогенераторами Зарамагской ГЭС-1 реактивной мощности;
- определение причин неустойчивой работы гидрогенераторов Зарамагской ГЭС-1 при рабочих параметрах настройки регуляторов возбуждения *DECS-400*.

2. Для проведения испытаний на ПАК РВ подготовлена математическая модель энергосистемы, адекватно отображающая планируемые условия работы гидрогенераторов Зарамагской ГЭС-1 в ОЭС Юга на уровень 2025 года развития энергосистемы.

3. Программа испытаний согласована Филиалом АО «СО ЕЭС» ОДУ Юга.

4. Предварительный выбор параметров настройки регуляторов возбуждения *DECS-400* гидрогенераторов №1 и №2 Зарамагской ГЭС-1 выполнен АО «НТЦ ЕЭС» в эталонных цифровых моделях ОЭС Юга на уровень её развития в 2025 году, разработанных в рамках упомянутого Договора.

5. Зарамагская ГЭС-1 в схеме представлена математическими моделями двух агрегатов, каждая из которых включает модель статической тиристорной системы самовозбуждения. К математической модели тиристорной системы самовозбуждения гидрогенератора №1 Зарамагской ГЭС-1 подключен промышленный образец регулятора возбуждения *DECS-400* в составе регулятора напряжения типа *ST4B* и системного стабилизатора типа *PSS2B* производства компании *Basler Electric* с установленной версией программного обеспечения ПО1.09.03, на котором заданы расчетные параметры настройки, выбранные в эталонных цифровых моделях ОЭС Юга по методике, разработанной в АО «НТЦ ЕЭС». К математической модели тиристорной системы самовозбуждения гидрогенератора №2 Зарамагской ГЭС-1 подключена верифицированная математическая модель регулятора возбуждения *DECS-400*, на котором также заданы расчетные параметры настройки.

6. Перед проведением испытаний на ПАК РВ проведены эксперименты по сравнению откликов промышленного образца *DECS-400*

и его математической модели на тестовые возмущения, позволившие уточнить параметры математической модели регулятора возбуждения *DECS-400* и обеспечившие идентичность поведения регулятора и его математической модели при реализации алгоритма регулирования напряжения и стабилизации.

7. Испытания проведены по рабочей программе, которая была подготовлена на основе согласованной программы испытаний и включала более 350 основных экспериментов.

8. При испытаниях в качестве характерных рассмотрены режимы зимнего и летнего максимумов и зимнего и летнего минимумов нагрузок энергосистемы Юга на уровень ее развития в 2025 году.

9. В характерных электрических режимах гидрогенераторы Зарамагской ГЭС-1 загружены до уровня номинальной активной мощности (181,3 МВт).

10. В процессе испытаний рассмотрены нормативные возмущения вблизи шин 330 кВ Зарамагской ГЭС-1, подстанций 330 кВ Владикавказ-2 и Нальчик.

11. В ходе испытаний выполнены:

- корректировка и проверка эффективности параметров настройки регуляторов напряжения и системных стабилизаторов *DECS-400* гидрогенераторов Зарамагской ГЭС-1;
- определение характера нарушения статической устойчивости;
- выбор параметров релейной форсировки возбуждения;
- проверка работы ограничителя минимального возбуждения (ОМВ), изменение типа его рабочего алгоритма;
- проверка правильности настройки регулятора возбуждения при возникновении аварийных небалансов активной мощности и корректировка параметров настройки блокировки системного стабилизатора;
- проверка эффективности настройки регулятора возбуждения при демпфировании аварийных колебаний;
- определение причин неустойчивой работы гидрогенераторов Зарамагской ГЭС-1 при рабочих параметрах настройки регуляторов возбуждения *DECS-400*.

12. При испытаниях обнаружено, что:

- Для схемно-режимных условий работы гидроагрегатов Зарамагской ГЭС-1 эффективность стабилизации эксплуатационных режимов и демпфирования аварийных колебаний может быть повышена за счет увеличения коэффициента усиления системного стабилизатора «Ks1» с 4 о.е. до 10 о.е. без повышения пульсаций напряжения возбуждения на частотах выше 2 Гц.

- Алгоритм функционирования ОМВ, реализованный в качестве опции в версии ПО1.09.03 регулятора возбуждения *DECS-400* и применяющийся в качестве рабочего алгоритма ОМВ на гидрогенераторах Зарамагской ГЭС-1, не соответствует алгоритму, использовавшемуся при сертификации *DECS-400*. При моделировании ряда нормативных возмущений, вызванных короткими замыканиями в сети 330 кВ, применение этого алгоритма не обеспечивало ввод релейной форсировки возбуждения, а вызывало снижение напряжения возбуждения, что противоречит Требованиям к системам возбуждения и автоматическим регуляторам возбуждения сильного действия синхронных генераторов, утвержденными Приказом Минэнерго РФ от 13.02.2019 №98 (далее – «Требования») и приводит к снижению запасов динамической устойчивости.

- Рабочие параметры настройки блокировки системного стабилизатора по скорости изменения частоты приводят к ее срабатыванию при коротких замыканиях (излишней работе), что снижает эффективность демпфирования послеаварийных колебаний при нормативных возмущениях, вызванных короткими замыканиями в энергосистеме.

- Причиной возникновения синхронных колебаний увеличивающейся амплитуды при работе гидрогенераторов Зарамагской ГЭС-1 в режимах малого возбуждения является неэффективность рабочих параметров настройки системных стабилизаторов регуляторов возбуждения *DECS-400* Зарамагской ГЭС-1.

- При моделировании ряда нормативных возмущений происходит срабатывание блокировки системного стабилизатора с выдачей диагностического сообщения «Разбаланс токов», что снижает эффективность демпфирования послеаварийных колебаний.

- При возникновении аварийных дефицитов мощности в энергосистеме в послеаварийном квазиустановившемся режиме возможно срабатывание блокировки системного стабилизатора с

выдачей диагностического сообщения «РЕЖИМ МИН ЧАСТ.», что снижает эффективность демпфирования послеаварийных колебаний.

- Регулятор возбуждения при работе гидрогенератора вблизи границы ОМВ может формировать сигнал на развозбуждение, приводящий к снижению реактивной мощности за заданную границу ОМВ на существенную величину и выдачей диагностического сообщения «О_МИН_В». Так, в ходе испытаний при величине активной мощности гидрогенератора Зарамагской ГЭС-1 порядка 70 МВт и заданном значении границы ОМВ -115 Мвар зарегистрирован случай со снижением его реактивной мощности до величины порядка -134 Мвар. В условиях работы натурального генерирующего оборудования это может приводить к отключению гидрогенератора действием защит. Данная нестабильная работа выявлена при обоих («Ступенчатый» и «Параболический») алгоритмах функционирования ОМВ, реализованных в версии ПО1.09.03 регулятора возбуждения *DECS-400*.

- Рабочие параметры настройки ограничителя тока возбуждения, которые установлены на уровне порядка 1,05 от номинального тока возбуждения без выдержки времени.

13. Программа испытаний выполнена полностью.

Выводы по результатам испытаний:

1. Скорректированные в ходе испытаний параметры настройки регуляторов возбуждения *DECS-400* гидрогенераторов №1 и №2 Зарамагской ГЭС-1 обеспечивают успешную стабилизацию эксплуатационных режимов в нормальной и ремонтных схемах электрической сети, в том числе в режимах глубокого потребления реактивной мощности, а также демпфирование послеаварийных колебаний при нормативных возмущениях вблизи секций шин 330 кВ Зарамагской ГЭС-1, подстанций 330 кВ Владикавказ-2 и Нальчик.
2. Релейная форсировка возбуждения регуляторов возбуждения *DECS-400* гидрогенераторов №1 и №2 Зарамагской ГЭС-1 с выбранными в ходе испытаний параметрами настройки функционирует в полном соответствии с Требованиями.
3. Регуляторы возбуждения *DECS-400* со скорректированными в ходе испытаний параметрами настройки при возникновении аварийных небалансов активной мощности, приводящих к изменению частоты в энергосистеме со скоростью более 0,05 Гц в секунду,

обеспечивают блокировку системного стабилизатора, что соответствует Требованиям.

4. АО «НТЦ ЕЭС» представит подробное описание результатов испытаний в техническом отчете по упомянутому Договору.

Заключение

1. Испытания цифровых регуляторов возбуждения DECS-400 гидрогенераторов №1 и №2 Зарамагской ГЭС-1 на ПАК РВ в схеме энергосистемы Юга проведены в соответствии с Требованиями в полном объёме согласованной программы.
2. Регуляторы возбуждения DECS-400 гидрогенераторов №1 и №2 Зарамагской ГЭС-1 в схемно-режимных условиях ОЭС Юга на уровень развития 2025 года при скорректированных в ходе испытаний параметрах настройки обеспечивают эффективную стабилизацию электрических режимов энергосистемы, а также успешное демпфирование послеаварийных колебаний режимных параметров при нормативных возмущениях вблизи шин 330 кВ Зарамагской ГЭС-1, подстанций 330 кВ Владикавказ-2 и Нальчик.
3. При проведении пуско-наладочных работ на системах возбуждения гидрогенераторов №1 и №2 Зарамагской ГЭС-1 в качестве исходных параметров настроек регуляторов возбуждения DECS-400 рекомендуется установить параметры настройки согласно Приложению к настоящему Протоколу.

От АО «НТЦ ЕЭС»:

Начальник лаборатории НИО-3



А.Х. Есипович

Начальник сектора НИО-3



Д.А. Кабанов

Старший научный сотрудник НИО-3



О.В. Гуриков

Младший научный сотрудник НИО-3



А.Ю. Сульчакова

От Филиала ПАО «РусГидро»-«Северо-Осетинский филиал»:

Инженер участка ТАиВ Службы релейной защиты
автоматики и метрологии



А.М. Сабаев